2. 微量気体の測定 / CO_2の測定

植山 雅仁

2. 1. 大気中の CO_2 濃度

大気中の CO_2 濃度は、非常に微量

ppm (part per million)[*1] 体積比 : 空気 1 に対する CO_2 の体積比 $\times 10^{-6}$ (100 万分の 1)

kg m^{-3} 密度 : 湿潤空気 1 m^{-3} に含まれる CO_2 の重さ

* CO_2 の分子量は 44.01 g mol^{-1}

*[1] ppm は体積比である事から、volume の v をとって ppmv と表記する場合もある。

表 1 大気の組成

(Wikipedia より)

気体	容積 (%)
窒素	78.08%
酸素	20.95%
アルゴン	0.93%
二酸化炭素	0.04%
水蒸気	約1%
他	0.00%

大気中の CO_2 濃度の測定は、1958 年に米国の Keeling 博士によってハワイのマウナロア山で始められた (Keeling et al., 1995)。観測データが蓄積されるに従って、人為起源の CO_2 が大気中に蓄積され濃度が年々増加していることが明らかとなった。

大気 CO_2 濃度

産業革命以前 : 280ppm

現在の : 389.0ppm (2010 年)

→ 年率 0〜4ppm のペースで増加

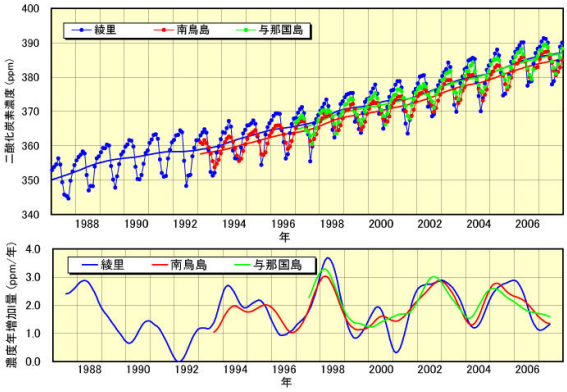

図 1 大気中の CO_2 濃度と増加量の推移 (気象庁の HP より)

大気中の増加量 = 化石起源の放出量 + 海—大気間の交換量 + 陸—大気間の交換量

短期的な変動(日変化、季節変化、年々変化)は、陸—大気間の交換量が影響

→ 昼に大気 CO_2 濃度は下がる。(陸の光合成、夜は呼吸)

→ 北半球の夏に、大気 CO_2 濃度は下がる。(陸の光合成)

→ エルニーニョの年に、増加量が増える。(陸は放出が増え、海は吸収が増える)

2.2. 温室効果と地球温暖化

温室効果：

地球大気は概して太陽放射に対しては透明、赤外放射（熱赤外放射）に対しては温室効果気体のため不透明である。大気中の温室効果気体の濃度が上昇すると、赤外線が大気中で多く吸収され大気の気温が上昇する、その結果再び地表面に向けて再放射される熱エネルギーも上昇する。

温室効果がなければ地表気温は－19℃、温室効果があるので 14℃　（約 33℃暖めている。）

温室効果気体：

地球から宇宙空間に射出される赤外線（熱赤外放射）を吸収する大気分子成分の総称

最大の温室効果気体は水蒸気？

水蒸気量は地球の温度やその他の気候システムによって変化する気候変動の内的要因

二酸化炭素は、平衡状態の気候システムにおいては、気候変動の外的要因

主な温室効果気体 : H_2O, CO_2, CH_4, N_2O

放射強制力：

何らかの要因（例えば、二酸化炭素濃度の変化）により地球気候系に変化が起こったとき、その要因が引き起こす放射エネルギーの収支（放射収支）の変化量 ($W\ m^{-2}$)

産業革命以降の二酸化炭素濃度上昇による放射強制力：1.66 (1.49 – 1.83) $W\ m^{-2}$ (IPCC, 2007)

2.3. 二酸化炭素の全球収支

大気残留 CO_2

産業革命以前：0 GT C yr^{-1}

1990 年代　　：4 GT C yr^{-1} (人為起源の放出の約半分)

*G (ギガ) : 10^9 (10 億)

陸上植物の CO_2 収支は、光合成と呼吸の僅かな差

なぜ、近年、陸上植物の吸収量が増えたのか？

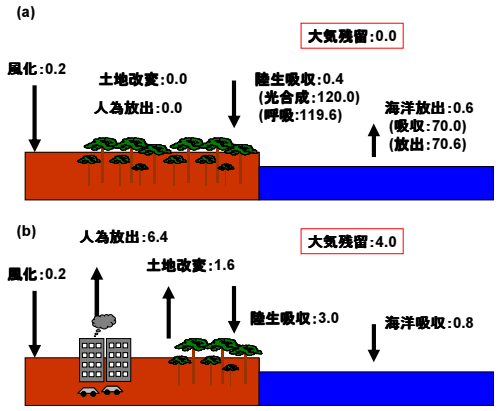

図 2 地球規模での CO_2 収支 (GT C yr^{-1})

(a) 産業革命以前、(b)以降 (1990 年代平均)

2.4. 赤外線ガス分析計

CO_2 の測定は、通常赤外線ガス分析計を用いる。赤外線ガス分析計では、CO_2 などの気体が赤外線領域に固有の吸収帯を持っていることを利用して、赤外線の吸光率から CO_2 密度を評価する。二酸化炭素は赤外線の 2.5～3 μ m、4～5 μ m の波長帯域に強い吸収帯を持つため、例えば、Li-Cor 社の赤外線ガス分析計では、150nm のバンドパスフィルタを用いて 4.26 μ m の波長域の赤外線の吸光率から CO_2 を評価している。

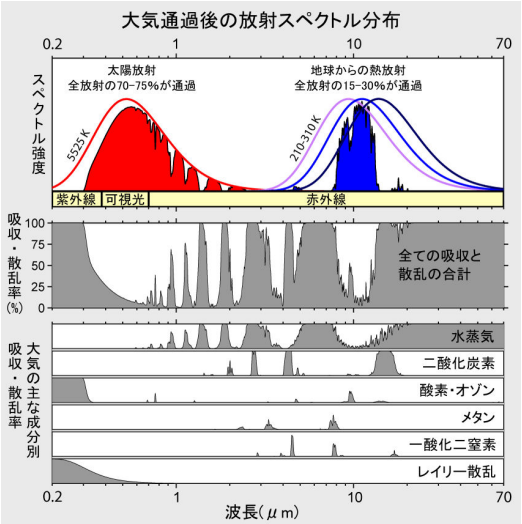

図 3 放射スペクトルと吸光特性

(Wikipedia より)

ランベルト・ベールの法則

$$\log(I_1/I_0) = \varepsilon c l$$

I_0 : 媒質に入射する前の光の放射照度

I_1 : 媒質中を距離 L 移動したときの光の強度

ε : モル吸光係数

c : 媒質のモル濃度

l : セル長

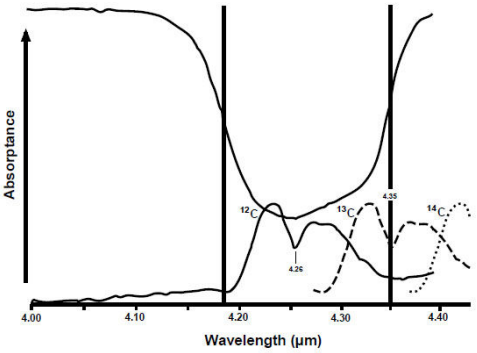

図 4 波長 4.26μm 域における CO_2 の吸光帯

(McDermitt et al., Li-Cor 技術資料より)

原理的には計測対象は、

濃度ではなく、セルの容積中に含まれるモル数

即ちモル密度

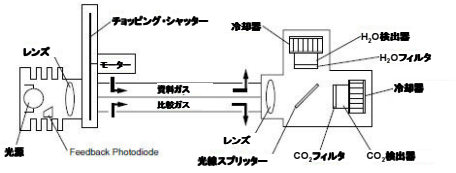

図 5 クローズドパス CO_2・H_2O 分析計

(LI-COR LI-6262 取扱説明書より)

利点：

応答時間が早い

長期連続測定が容易

欠点：

感度特性が時間によって変化

→頻繁に検定が必要

気圧、気温の補正が必要

水蒸気の干渉を受ける（相互感度と稀釈効果）

理想気体の状態方程式

$$PV = nRT$$

$$n/V = P/RT$$

クローズドパス型とオープンパス型の分析計

オープンパス型：セルが大気に露出

応答速度が速い

取り付けが容易 (ポンプ不要)

降雨など天候に計測が左右される

クローズドパス型：セルが露出していない

引用・参考文献

早坂忠裕, 1990: 温室効果気体. 天気, 37, 48-52.

Keeling, C. D., Whorf, T. P., Wahlen, M., van der Plicht, J., 1995: Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980. Nature, 375, 666-670.

Li-Cor, 1996: Li-6262 CO_2/H_2O analyzer instruction manual. Linclon, NE: Li-Cor, Inc.

McDermitt, D. K., Welles, J. M., Eckles, R. D., 1993: Effects of temperature, pressure and water vapor on gas phase infrared absorption by CO_2. Linclon, NE: Li-Cor, Inc.

文字信貴 2003. 植物と微気象 ―群落大気の乱れとフラックス―. 大阪公立大学共同出版会, 140pp.

文字信貴・平野高司・高見晋一・堀江武・桜谷哲夫, 1997: 農学・生態学のための気象環境学, 丸善株式会社, 199pp.

中島映至・竹村俊彦, 2009: 放射強制力, 天気, 56, 29-31.

参考ホームページ

地球温暖化に関して

IPCC : http://www.ipcc.ch/

気象庁による IPCC AR4 訳文：http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/index.html

微量気体の観測に関して

気象庁(大気・海洋環境観測報告): http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/cdrom/report_k.html

CO_2 濃度の計測

http://www.environment.co.jp/study/index.htm

http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/globalview/co2/co2_intro.html

Wikipedia （内容に関して、精査が必要）

関連キーワード：二酸化炭素、温室効果、地球温暖化、地球の大気、ランベルト・ベール

http://ja.wikipedia.org